

УДК 631.31.001.5

**САМОРОДОВ В.Б.**, д.т.н., проф., НТУ «ХПИ»  
**ОСТРОВЕРХ А.О.**, аспірант, НТУ «ХПИ»

## РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И КПД ТРАКТОРОВ НА ТЯГОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Представлена методика розподілу втрат потужності в колісних тракторах, та розглянуто вплив швидкісних складових втрат колісних тракторів на класичні потенційні характеристики експлуатаційної потужності й тягового ККД.

**Введение.** В последние годы идет активное обсуждение взаимосвязей тягово-скоростных, энергетических характеристик колесных и гусеничных тракторов и основных технико-экономических показателей машинотракторного агрегата (МТА) в целом. Решение указанной проблемы направлено на повышение производительности МТА, при одновременном учете потерь в трансмиссии, потерь на буксование, перекачивание и скоростной составляющей силы сопротивления на плуге. Особую актуальность эта задача приобретает в условиях постоянного форсирования мощности тракторного двигателя.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ взаимосвязей номинальной эксплуатационной мощности двигателя, КПД, веса трактора, потерь в трансмиссии, потерь на буксование, перекачивание трактора и скоростной составляющей потерь при обработке почвы в процессе тяговых технологий является актуальными, особенно с учетом постоянной тенденции к росту мощности тракторных двигателей. Постановка и решение подобных задач рассматривалась авторами в работах [1–7].

**Цель и постановка задачи.** Целью работы является разделение потерь мощности в колесных тракторах при выполнении основных тяговых сельскохозяйственных операций (вспашки, культивации, боронования), и анализ влияния на потери и КПД тракторов скоростных потерь при взаимодействии навесных орудий с почвой.

**Мощностной баланс трактора** описывается уравнением, показывающем как расходуется во время работы мощность, развиваемая тракторным двигателем. Так мощность двигателя должна быть равна сумме мощностей, затрачиваемых на преодоление различных сопротивлений, возникающих при движении: это мощность затрачиваемая на преодоление трения в трансмиссии; затраты на буксование, которое оказывает существенное влияние на реальную скорость МТА; затраты преодоления трения качения; тяговая мощность; затраты на преодоление трения в ВОМ; потери в гидросистеме; и т.п. Необходимые тяговые показатели трактора могут быть достигнуты и эффективно использованы только в том случае, если будут правильно выбраны основные его параметры: масса технологическая, скорость движения и мощность двигателя.

Для оценки эффективности тракторов воспользуемся теорией трактора [3,8,9]. Мощностной баланс машинотракторного агрегата представляется в виде:

$$N = N_T + N_f + N_{kp} + N_{\delta}, \quad (1)$$

где  $N$  – номинальная мощность двигателя;

$N_T, N_f, N_{kp}, N_{\delta}$  – соответственно потери мощности в трансмиссии, на перекачивание трактора, мощность на крюке и потери на буксование трактора.

Потери мощности в трансмиссии:

$$N_T = N(1 - \eta \cdot k_{зд}), \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия трансмиссии;  $k_{зд}$  – коэффициент загрузки двигателя.

Потери мощности на перекачивание трактора:

$$N_f = m \cdot g \cdot f \cdot V, \quad (3)$$

где  $m$  – масса трактора;  $f$  – коэффициент сопротивления перекачиванию;  $V$  – действительная скорость трактора;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

С учетом буксования:

$$V = (1 - \delta)V_T, \quad (4)$$

здесь  $\delta$  – безразмерный коэффициент буксования;  $V_T$  – теоретическая скорость трактора при отсутствии буксования.

Эффективная мощность на крюке определяется соотношением [5, 6]

$$N_{kp} = P_{kp} [1 + \Theta(V - V^*)\Delta] V, \quad (5)$$

где  $P_{kp}$  – эффективная крюковая нагрузка;  $\Theta(V - V^*)\Delta$  – слагаемое, учитывающее увеличение сопротивления движению плуга, которое в соответствии с ростом скорости трактора  $V$  свыше  $V^* = 6 \text{ км/ч}$  увеличивается на 5% ( $\Delta = 0,05$ ) на каждый километр скорости до 9 км/ч и на 7% – с 9 до 12 км/ч [10];  $\Theta$  – коэффициент учета скоростных потерь:

$$\Theta = \begin{cases} 0, & \text{если } V \in [0; V^*), \\ 1, & \text{если } V \in [V^*; V_{\max}]. \end{cases} \quad (6)$$

Полная сила тяги  $P_T$ , развиваемая трактором:

$$P_T = m \cdot g \cdot f + P_{kp} [1 + \Theta(V - V^*)\Delta]. \quad (7)$$

Тогда потери мощности на буксование:

$$N_{\delta} = P_T \cdot V_T \cdot \delta = \{m \cdot g \cdot f + P_{kp} [1 + \Theta(V - V^*)\Delta]\} V \frac{\delta}{1 - \delta}. \quad (8)$$

С учетом соотношений (1) – (8) уравнение баланса мощности представим в виде:

$$N \cdot \eta \cdot k_{зд} = m \cdot g \cdot f \cdot V + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta] \cdot V + \\ + \{m \cdot g \cdot f + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta]\} V \frac{\delta}{1 - \delta}. \quad (9)$$

После преобразований уравнение баланса мощности примет вид:

$$(1 - \delta) N \cdot \eta \cdot k_{зд} = \{m \cdot g \cdot f + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta]\} V. \quad (10)$$

Полная крюковая нагрузка определяется коэффициентом сцепления  $\varphi$ :

$$P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta] = m \cdot g \cdot \varphi = m \cdot g \cdot (\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta}). \quad (11)$$

Потенциальная зависимость мощности на ведущем колесе от  $P_{кр}$  без учета скоростных потерь имеет вид:

$$N(P_{кр}) = N - N_T - N_\delta - N_f. \quad (12)$$

Классическое определение КПД с учетом потерь мощности в трансмиссии  $N_T$ , потерь мощности на буксование  $N_\delta$ , и потерь на перекачивание  $N_f$  (без учета скоростной составляющей потерь)

$$\eta = 1 - \frac{N_T + N_f + N_\delta}{N}. \quad (13)$$

Из уравнений (10) и (11) следует:

$$V = \frac{N \cdot \eta \cdot k_{зд}}{m \cdot g} \cdot \frac{1 - \delta_i}{\varphi + f} = \frac{N \cdot \eta \cdot k_{зд}}{m \cdot g} \cdot \frac{1 - \delta_i}{\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta_i} + f}; \quad (14)$$

$$P_{кр_i}^{\text{эф}} = m \cdot g \cdot \frac{\varphi}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i} = m \cdot g \cdot \frac{\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta_i}}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i} = B \cdot h_i \cdot k. \quad (15)$$

$P_{кр_i}^{\text{эф}}$  - крюковая эффективная нагрузка без учета скоростных потерь;  $B$  - ширина захвата рабочего орудия;  $h$  - глубина вспашки;  $k$  - коэффициент удельного сопротивления плуга,  $i$  - номер тягового режима;  $\Delta_i = 1, 2, 3$  соответственно для боронования, культивации, вспашки ( $\Delta_1 = 0,015$ ,  $\Delta_2 = 0,03$ ,  $\Delta_3 = 0,06$ );  $V^* = 1,67$  м/с [10, 11].

В общем случае для мощности, на ведущих колесах как функции  $P_{kpi}$  с учетом скоростных потерь имеем:

$$N_{kpi} = \frac{P_{kpi} \cdot V(\delta)}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i}. \quad (16)$$

Из уравнения (15) определим буксование:

$$\delta_i = \frac{1}{\lambda} \ln \cdot \left( \frac{\beta}{\alpha - \frac{B \cdot h_i \cdot k \cdot (1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i)}{m \cdot g}} \right) \quad (17)$$

Для анализа и декомпозиции разделения потерь, баланса мощности и КПД колесных тракторов при выполнении основных сельскохозяйственных операций, использованы следующие трактора: ХТЗ-17221 весом 9 тонн, мощностью двигателя 125 кВт; МТЗ-1221 весом 5 тонн, мощностью двигателя 96 кВт; а также колесный трактор с мощностью двигателя 147 кВт (220 л.с.) и весом 9,3 тонны.

По результатам расчета в среде MathCAD были построены графики потерь и баланса мощности сравниваемых колесных тракторов (рис. 1-3), и их КПД (рис. 4-6). На рисунках (1 - 6): 1 – мощность двигателя, 2 – потеря мощности в трансмиссии, 3 – потеря мощности на буксование, 4 – потенциальная зависимость мощности на ведущем колесе от  $P_{кр}$ , 5, 6, 7 – крюковая мощность соответственно на бороновании, на культивации, на пахоте с учетом скоростных потерь, 8 – потери на перекачивание, 9 – скорость, 10 – буксование.

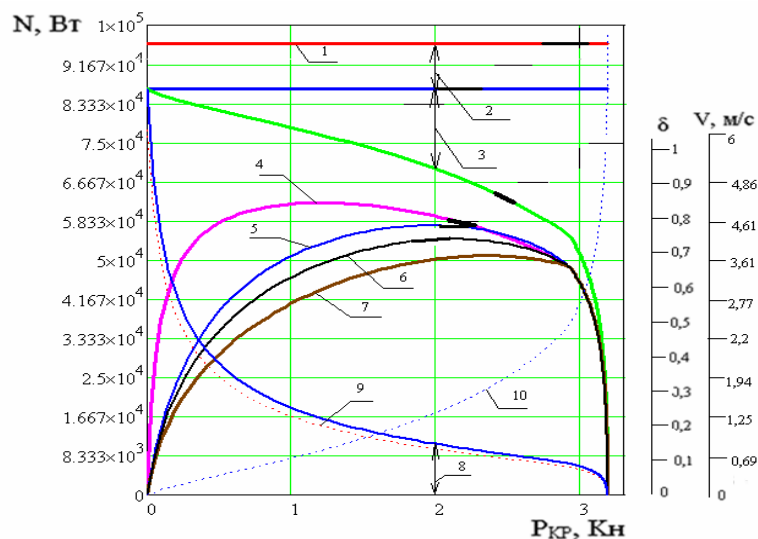


Рисунок 1 – Потери и баланс мощности трактора МТЗ-1221

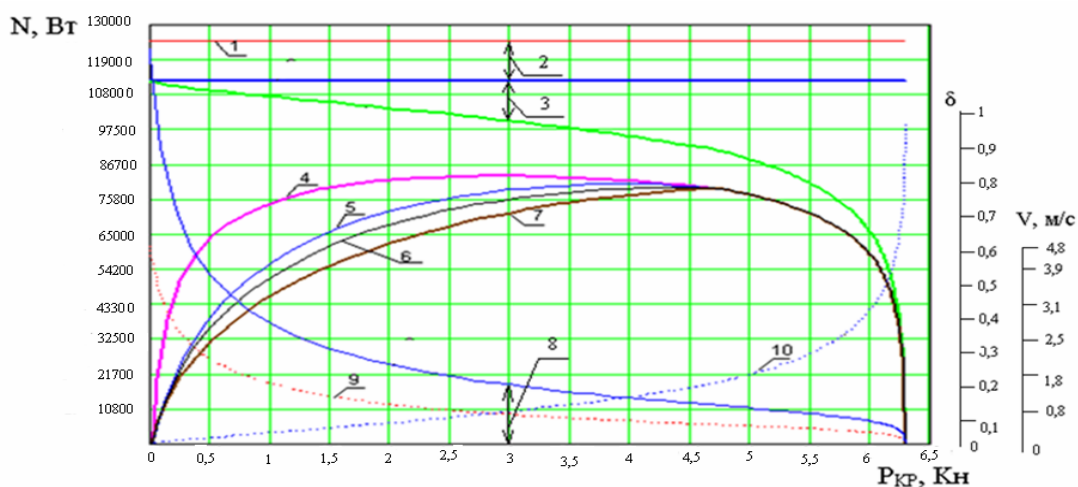


Рисунок 2 – Потери и баланс мощности трактора ХТЗ-17221

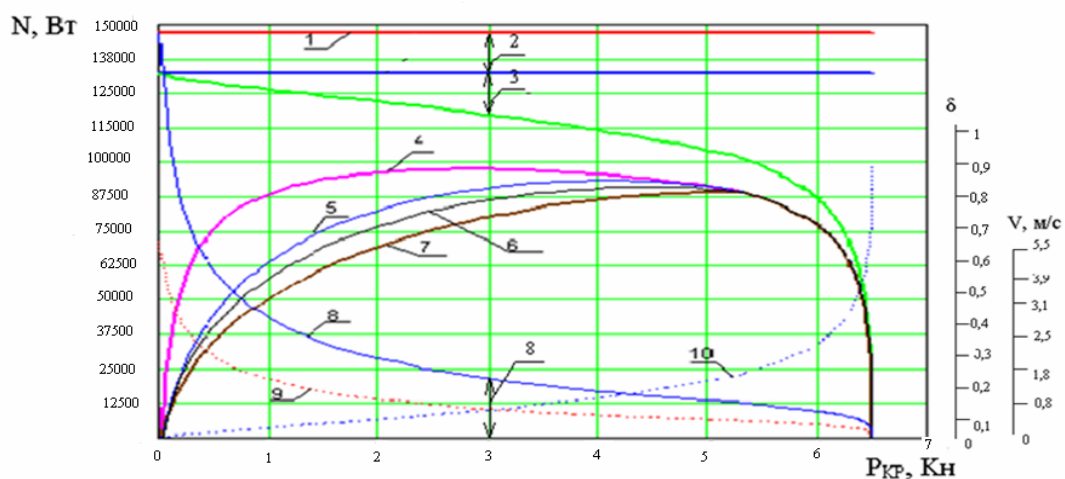


Рисунок 3 – Потери и баланс мощности колесного трактора с мощностью двигателя 147кВт (220 л.с.)

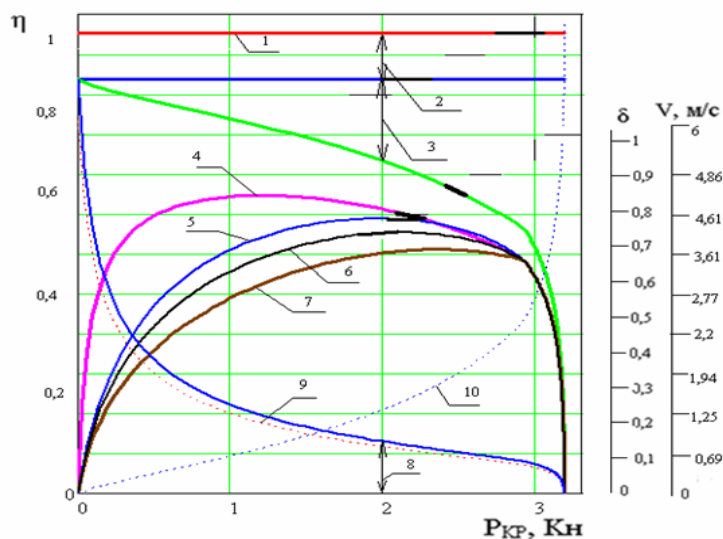


Рисунок 4 – КПД трактора МТЗ-1221

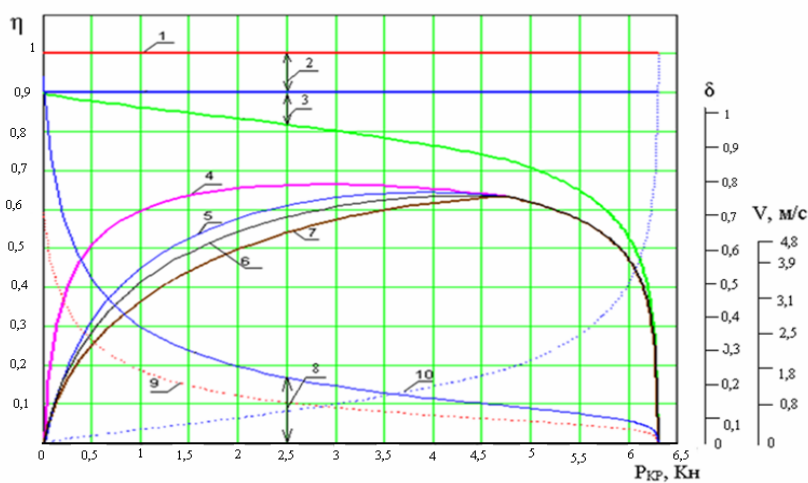


Рисунок 5 – КПД трактора ХТЗ-17221

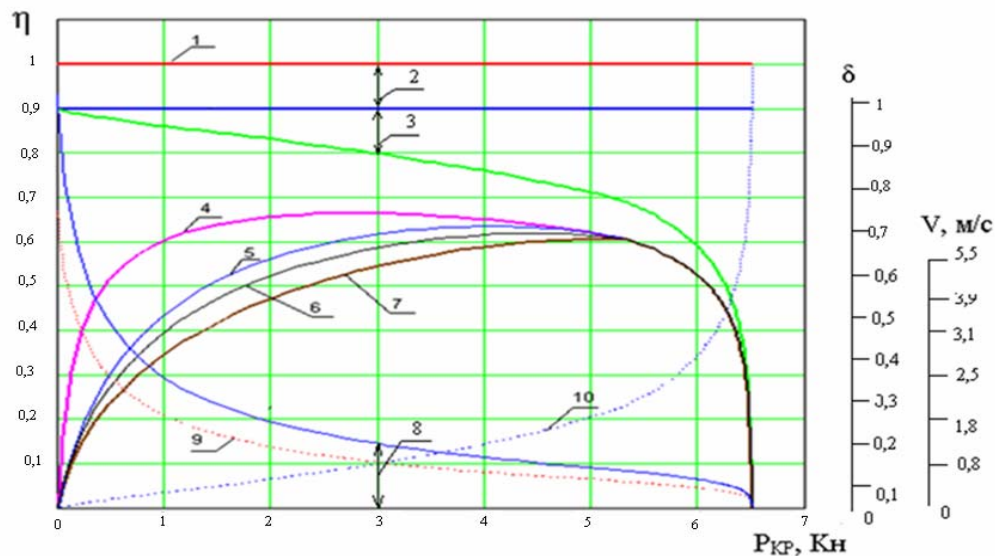


Рисунок 6 – КПД колесного трактора с мощностью двигателя 147кВт (220 л.с.)

### Выводы

1) Представлена методика разделения потерь мощности в колесных тракторах, при выполнении основных тяговых сельскохозяйственных операций. 2) Скоростные составляющие потерь при взаимодействии навесных орудий с почвой существенно влияет на классические потенциальные характеристики эксплуатационной мощности и тягового КПД колесных тракторов, уменьшая их максимальные значения от 5 до 20%, соответственно для технологических операций боронование (5-7%), культивации (до 10%), пахоте (15-20%), и существенно сдвигают их максимальные значения на указанных технологических операциях (до 30%) в сторону увеличения крюковой нагрузки, что сопровождается значительным повышением буксования до 70%. 3) Обращает на себя внимание более высокий тяговый КПД примерно на 10-12% выше у тракторов ХТЗ по отношению к МТЗ-1221.

**Список литературы:** 1. Рославцев А.В. / Теория движения тягово-транспортных средств. Учебное пособие. – М.: УМЦ «ТРИАДА», 2003. – 172 с. 2. Кутьков Г.М. / Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл. 3. Тракторы: Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с. 4. Самсонов В.А. / Оценка эффективности и сравнение тракторов при проектировании и модернизации. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3 М.: 2006. – С.11-16. 5. Коваль А.А., Самородов В.Б./ Влияние составляющих крюковой нагрузки на основные технико-экономические показатели колесного трактора на пахоте. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3 М.:2007.– С.15-17. 6. Самородов В.Б., Лебедев А.Т. Митропан Д.М., Сергиенко Н.Е. Рациональное агрегатирование тракторов на вспашке // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №11 М.: 2004. – С. 43-55. 7. Лебедев А.Т., Лебедев С.А. Оптимизация скорости движения тракторного агрегата // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – Полтава: ПДАА. – 2006 р. – №4(43). – С. 66-71. 8. Львов Е.Д. Теория трактора. М.: Машгиз, 1960. - 388 с. 9. Кутьков Г.М. Тяговая динамика тракторов. М.: Машиностроение, 1980.-215с. 10. Методические указания по экономической оценке новой тракторной техники. Раздел 3. Нормативные материалы для определения экономического эффекта тракторов и сельскохозяйственных машин с. 140. НАТИ. М: 1982. 11. Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Гуськов В.В. и др. Сомнительное сравнение тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины №6 М.: 2005. – С. 33-34.